

прочность, наличие микродефектов, пор и включений, величину и характер остаточных напряжений, толщину слоя покрытия и др.

Результаты испытаний показали достаточно хорошую корреляцию с данными других исследователей [3-5] и подтвердили связь между пороговыми прочностными и деформационными характеристиками.

Литература

1. Владимиров, В.И. Физическая природа разрушения металлов / В.И. Владимиров. – М.: Металлургия, 1984. – 280 с.
2. Завистовский, В.Э. Твердость и прочность сцепления наплавленного покрытия из сплава ПГ-СР4 на сталь 20 / В.Э. Завистовский, В.И. Моисеенко // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2001. – Т. 6. – № 3. – С. 48 – 51.
3. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С. Иванова [и др.]. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
4. Павлов, П.А. Механические состояния и прочность материалов / П.А. Павлов. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1980. – 176 с.
5. Завистовский, В.Э. Механика разрушения и прочность материалов с покрытиями / В.Э. Завистовский. – Новополоцк: ПГУ, 1999. – 144 с.

УДК 539.3

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВОССТАНОВЛЕННЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

С.Э. Завистовский, В.Э. Завистовский

Полоцкий государственный университет, Новополоцк

Одним из способов повышения выносливости коленчатого вала является упрочнение методом поверхностного пластического деформирования галтелей шатунных шеек после восстановления наплавкой. Проведенные исследования по восстановлению изношенных шеек коленчатых валов двигателя Д-240 с последующим упрочнением галтелей выявили значительный резерв повышения усталостной прочности, составляющий 25-30% и более, что подтверждается соответствующим аналитическим расчетом.

С целью повышения усталостной прочности деталей применяют технологические процессы, основанные на изменении физических свойств, химического состава, структуры и напряженного состояния поверхностных слоев материала деталей [1, 2]. Наибольшее распространение получили механические способы упрочнения методом ППД по следующим причинам: простота изготовления, дешевизна, применение практически для всех видов металлов, для деталей любой формы, создание глубины упрочнённого слоя до 20 мм, границы наклёпанной поверхности не являются зонами пониженной прочности, эффективность наклёпа значительно меньше зависит от ре-

жима наклепа, при повышении усталостной прочности ударная вязкость снижается значительно меньше, чем при обработке другими способами.

Испытания по определению усталостной прочности проводили на образцах, имитирующих шейку коленчатого вала с галтелями. Образец был выполнен из стали марки 45Х, из которой изготавливают коленчатые валы двигателя Д-240. Испытания проводили на резонансной машине УП-50, позволяющей создать изгибающий момент на испытуемом образце по симметричному циклу на базе 2×10^6 циклов [3].

Исследования выполняем на натурных образцах с элементом шатунных шеек, выполненных в 2-х сериях:

1 серия – без упрочнения;

2 серия – с упрочнением дробью $\varnothing 3$ мм.

Упрочнение осуществляли специальным приспособлением при усилии накатывания 8 кН, $n = 25 \text{ мин}^{-1}$, $\tau = 60$ с. Для закрепления натурных образцов на испытательной машине образцы подвергались дополнительной доработке.

Предварительно установлены следующие режимы упрочнения: давление воздуха 0,46...0,48 МПа; продолжительность обработки 5 мин. Выбранные режимы упрочнения обеспечивают насыщение поверхности галтелей следами отпечатков и достаточны для одновременного упрочнения наплавленного слоя.

Статическая тарировка осуществлялась с помощью динамометра типа ДОСМ 1000. Испытание образца считалось законченным с момента зарождения усталостной трещины или после отработки им без разрушения принятой базы испытаний. Момент появления усталостной трещины легко определяется по изменению режима работы установки (увеличение амплитуды колебаний при заданной частоте). Предел выносливости определялся с точности до 10 МПа.

Результаты показывают, что упрочнение галтелей восстановленных коленчатых валов пневмодинамическим наклепом, шариками диаметром 3 мм, увеличивает их предел выносливости при изгибе от 40...60 МПа до 90 МПа, т.е. в 1,5 раза и более, а по количеству циклов нагружения при одинаковой нагрузке 5 кН, более чем в 5 раз [4].

Глубина наклепа определяется по эмпирической формуле

$$\delta_n = \frac{C d_d v_d}{U} \sqrt{\frac{\rho(1-K^2)}{6g HB}}, \quad (1)$$

где C – коэффициент пропорциональности, зависящий от физико-механических свойств материала, ($C = 18...20$); d_d – диаметр дроби; v_d – скорость дроби при встрече с обрабатываемой поверхностью; $U = (1+0,07R)$ – приведенный радиус кривизны контактирующих поверхностей; R – радиус кривизны сферической дроби; ρ – плотность материала деформирующего элемента; K – коэффициент восстановления при ударе; g – ускорение свободного падения; HB – твердость по Бринеллю.

Для стальных шариков $\varnothing 3$ мм $v_d = 17,7$ м/с при давлении в пневмосети $P = 0,4$ МПа.

Полученные данные о геометрическом факторе в валах и диаграмме усталостного разрушения позволяют рассчитать размер неразвивающихся трещин при напряжении и числе циклов, которые необходимы для развития трещин от одного размера до другого.

Зависимость порогового напряжения σ_{th} , при котором трещина не развивается, от размера трещины в валу, получена по формуле

$$\sigma_{th} = \frac{K_{th}}{Y_E \sqrt{2c}} \quad (2)$$

где K_{th} — пороговый коэффициент интенсивности напряжений.

Эти данные позволяют оценить относительную опасность трещин разного размера, т.к. в долговечности вала стадия развития усталостной трещины занимает значительную долю.

При циклическом нагружении у вершины трещины образуются две зоны: статическая и циклическая. При переходе роста трещины пороговой скорости происходит скачкообразное изменение размера пластической зоны на фронте трещины и образование усталостных бороздок. Размер статической зоны связан с пределом текучести материала. Для поверхностной трещины можно воспользоваться следующим соотношением

$$\frac{r_p}{l} = 0,25 \left(\frac{\sigma_{max}}{\sigma_y} \right)^2, \quad (3)$$

где r_p — размер статической зоны; l — длина трещины; σ_{max} — максимальное напряжение; σ_y — предел текучести.

Это позволяет, согласно условию подобия локального напряженно-деформированного состояния, оценивать состояние и ресурс материалов валов по условиям одной и той же величины отношения размера пластической деформации к длине трещины.

Литература

1. Прокопенко, А.В. Об усталостной трещиностойкости коленчатых валов / А.В. Прокопенко [и др.] // Проблемы прочности. — 1983. — №5. — С. 53 — 55.
2. Романов, А.Н. Пороговая скорость роста усталостной трещины и циклическая трещиностойкость металлов / А.Н. Романов, О.В. Иванова // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 1993. — №5. — С. 35 — 41.
3. Завистовский, С.Э. Исследование влияния технологических режимов пневмодинамического упрочнения на изменение прочности и твердости галтелей серийных коленчатых валов тракторов «Беларусь» / С.Э. Завистовский, Т.И. Завистовская // Инновационные технологии в машиностроении: материалы междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 29 — 30 окт. 2013 г. — Новополоцк, 2013. — С. 183 — 186.
4. Завистовский, С.Э. Остаточный ресурс восстановленных коленчатых валов / С.Э. Завистовский, В.Э. Завистовский // Вест. Полоц. госуд. ун-та. Сер. В. Промышленность. Прикладные науки. — №3, 2015. — С. 34 — 38.